

*Н.И. ЗАПОЛОВСКИЙ*, канд. техн. наук, НТУ "ХПИ",  
*Н.В. МЕЗЕНЦЕВ*, НТУ "ХПИ"

## **ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ФУНКЦИЯХ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ**

Виконаний аналіз різних функцій приналежності нечітких змінних при проектуванні нечіткого контролера швидкості у векторній системі управління електроприводом змінного струму. Наводяться результати моделювання і зроблені висновки відносно найбільш відповідних функцій приналежності для даного випадку.

The analysis of various functions of a fitting fuzzy variable is executed at designing the fuzzy speedcontroller in the vector control system of AC drive. Results of modelling are resulted and conclusions of rather most suitable functions of a fitting to the given case are made.

**Постановка проблемы.** При векторном способе управления электроприводом переменного тока дизель-поезда возникает необходимость управления процессом разгона с учетом качества протекания электромагнитных процессов и оптимизации энергетических затрат. Одним из критериев качества является величина перерегулирования, которая не должна превышать некоторого максимального значения в переходном режиме. В структуру системы векторного управления входят несколько регуляторов, в частности, ПИ-регулятор скорости, которой не обладает соответствующими качественными характеристиками. В последние 20 – 25 лет в теории автоматического управления появилось направление, связанное с методами нечеткой логики, позволяющими строить цифровые регуляторы, которые обеспечивают предельно высокое быстродействие систем управления. Однако остается открытым вопрос выбора функций принадлежности для нечетких переменных, описывающих функционирование регулятора. Поэтому целесообразно провести сравнительный анализ различных функций принадлежности и их влияние на работу проектируемого регулятора.

**Анализ литературы.** В [1 – 3] анализируются общие принципы векторного управления электроприводами, в частности, построение систем векторного управления с использованием стандартных П-, ПИ-, ПИД-регуляторов. В работах [4 – 6] рассмотрены методы синтеза систем управления на основе нечеткой логики. Здесь, с одной стороны, нечеткие системы управления используются для объектов управления, модель которых неизвестна, а с другой – как альтернатива классическим системам управления. Показано, что важным достоинством нечетких систем управления является возможность их обучения на примерах. Также приведено ряд возможных архитектур для построения нечетких систем управления.

В работе [7] детально описывается построение нечеткого регулятора для системы векторного управления электроприводом переменного тока. Рассматривается структура системы управления, приводится алгоритм работы нечеткого контроллера скорости, а также результаты моделирования спроектированной системы в пакете MATLAB. Однако здесь недостаточно внимания уделено вопросу выбора функций принадлежности нечетких переменных.

**Целью статьи** является исследование работоспособности нечеткого контроллера скорости в векторной системе управления электроприводом переменного тока дизель-поезда при различных функциях принадлежности нечетких переменных.

**Основной раздел.** Обобщенная структура системы векторного управления тяговым двигателем электропривода переменного тока дизель-поезда с использованием нечеткого контроллера по угловой скорости двигателя [3] приведена на рис. 1.

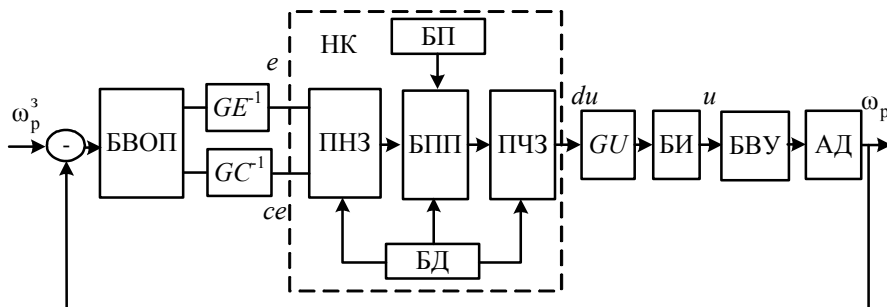


Рис. 1. Структура нечеткого контроллера в системе управления с обратной связью

Здесь:  $\omega_p^3$  – сигнал задания скорости вращения ротора тягового асинхронного двигателя; БВОП – блок вычисления ошибки и ее производной;  $GE^{-1}$ ,  $GC^{-1}$ ,  $GU$  – блоки умножения (деления) на масштабные коэффициенты; НК – нечеткий контроллер; ПНЗ – блок перехода к нечетким значениям; БП – база правил для нечеткого контроллера; БПП – блок применения правил; БД – база данных; ПЧЗ – блок перехода к четким значениям; БИ – блок интегрирования; БВУ – блок векторного управления; АД – асинхронный двигатель. Сигналы ошибки и производной ошибки преобразуются блоками  $GE^{-1}$  и  $GC^{-1}$  в соответствующие сигналы в относительных единицах  $e$  и  $ce$  путем деления на масштабные коэффициенты. Аналогично, выходной управляющий сигнал  $u$  вычисляется путем умножения выходного сигнала в относительных единицах  $du$  на масштабный коэффициент  $GU$ , с последующим его интегрированием блоком БИ для получения  $u$ .

В качестве нечетких переменных рассматриваются следующие [7]:

$E$  – сигнал ошибки по угловой скорости, которая может принимать значения:  $\{Z_1$  – нулевой сигнал ошибки;  $NS_1$  – небольшой отрицательный;  $NM_1$  – средний отрицательный;  $NB_1$  – большой отрицательный;  $PS_1$  – небольшой положительный;  $PM_1$  – средний положительный;  $PB_1$  – большой положительный};

$CE$  – сигнал ошибки по производной угловой скорости;  $\{Z_2$  – нулевой сигнал по производной ошибки;  $NS_2$  – небольшой отрицательный;  $NM_2$  – средний отрицательный;  $NB_2$  – большой отрицательный;  $PS_2$  – небольшой положительный;  $PM_2$  – средний положительный;  $PB_2$  – большой положительный};

$DU$  – сигнал нечеткого управления,  $\{Z_3$  – нулевой сигнал управления;  $NVS_3$  – очень малый отрицательный;  $NS_3$  – небольшой отрицательный;  $NM_3$  – средний отрицательный;  $NB_3$  – большой отрицательный;  $PVS_3$  – очень малый положительный;  $PS_3$  – небольшой положительный;  $PM_3$  – средний положительный;  $PB_3$  – большой положительный}.

Формирование нечеткого вывода контроллером осуществляется на основании нечетких правил, приведенных в таблице.

Таблица

$CE \backslash E$	$NB_1$	$NM_1$	$NS_1$	$Z_1$	$PS_1$	$PM_1$	$PB_1$
$NB_2$	$NB_3$	$NB_3$	$NB_3$	$NM_3$	$NS_3$	$NVS_3$	$Z_3$
$NM_2$	$NB_3$	$NB_3$	$NM_3$	$NS_3$	$NVS_3$	$Z_3$	$PVS_3$
$NS_2$	$NB_3$	$NM_3$	$NS_3$	$NVS_3$	$Z_3$	$PVS_3$	$PS_3$
$Z_2$	$NM_3$	$NS_3$	$NVS_3$	$Z_3$	$PVS_3$	$PS_3$	$PM_3$
$PS_2$	$NS_3$	$NVS_3$	$Z_3$	$PVS_3$	$PS_3$	$PM_3$	$PB_3$
$PM_2$	$NVS_3$	$Z_3$	$PVS_3$	$PS_3$	$PM_3$	$PB_3$	$PB_3$
$PB_2$	$Z_3$	$PVS_3$	$PS_3$	$PM_3$	$PB_3$	$PB_3$	$PB_3$

Правила формируются следующим образом:

**1. Если  $E = NB_1$  и  $CE = NB_2$ , то  $DU = NB_3$ ,**

**2. Если  $E = NM_1$  и  $CE = NB_2$ , то  $DU = NB_3$  и т.д.**

Областью определения всех нечетких переменных является интервал  $[-1, 1]$  относительных значений соответственно сигналов ошибки по угловой скорости, по производной угловой скорости и по сигналу управления. В качестве функций принадлежности нечетких лингвистических переменных  $E$ ,  $CE$ ,  $DU$  рассматривались функции, приведенные на рис. 2.

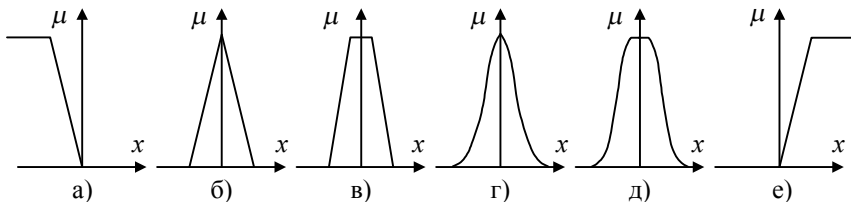


Рис. 2. Виды функций принадлежности

Эксперименты проводились для различных вариантов задания функций принадлежности как входных, так и выходной нечетких переменных. Сначала выбирались однотипные функции принадлежности (для входа и выхода). При этом получилось, что если функции принадлежности имели вид а – в и е, то нечеткий контроллер функционировал практически одинаково, только если использовались функции вида в (трапецидальные), получили некоторое перерегулирование по сравнению с функциями вида б.

На рис. 3 приведены результаты для случая использования функций вида б и в.

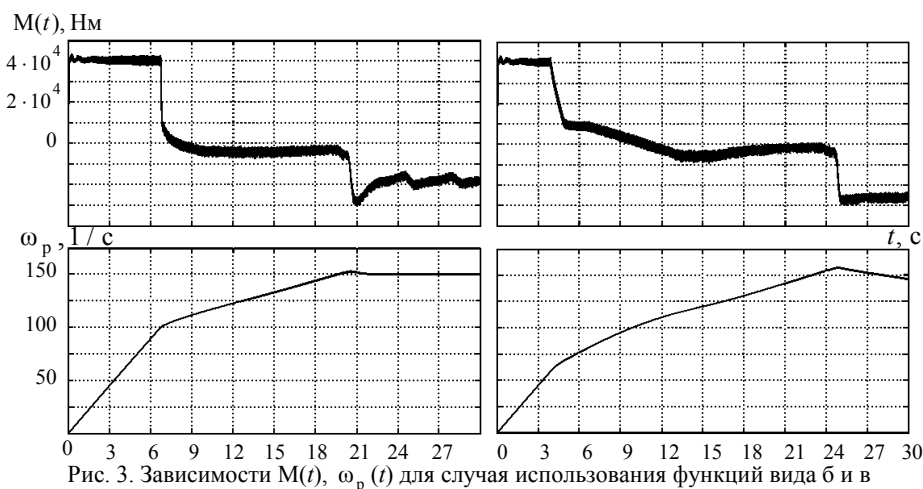


Рис. 3. Зависимости  $M(t)$ ,  $\omega_p(t)$  для случая использования функций вида б и в

При использовании функций принадлежности вида г и д регулятор не выполнял свою основную функцию (рис. 4).

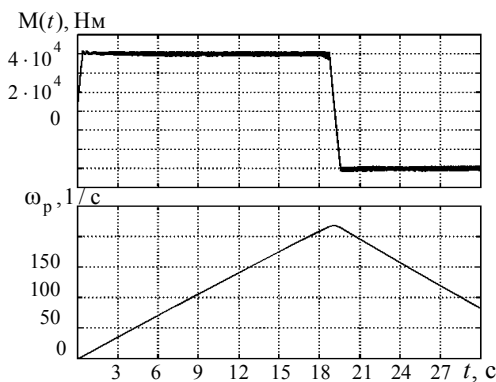


Рис. 4. Зависимости  $M(t)$ ,  $\omega_p(t)$  для случая использования функций вида г и д

Для случая комбинированного способа задания функций принадлежности: для входных переменных выбрали один тип функций принадлежности, а для

выходной – другой. При этом выяснилось, что форма функций принадлежности для выходной величины (сигнала нечеткого управления  $DU$ ) является не определяющей, т.е. за качество работы регулятора отвечает выбор вида функций принадлежности для входных нечетких переменных (сигнала ошибки по угловой скорости и сигнала ошибки по производной угловой скорости). На рис. 5 приведены зависимости при использовании для входа функций принадлежности треугольной формы (вида в), а для выхода – вида г.

Из анализа рис. 5 и рис. 3.1 можно увидеть, что использование на выходе функций принадлежности вида г позволяет несколько сгладить форму кривой момента, хотя график скорости практически остался без изменений.

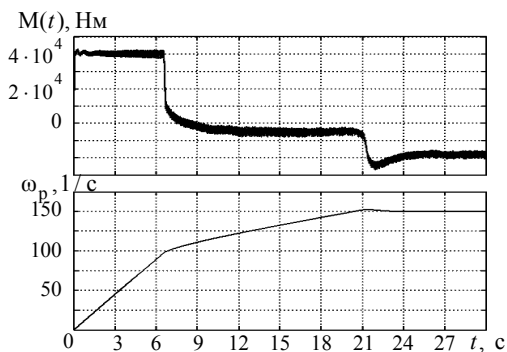


Рис. 5. Зависимости  $M(t)$ ,  $\omega_p(t)$  для случая использования для входа функций вида в), для выхода вида г

**Выводы.** Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что использование функций принадлежности вида г и д как для входных, так и для выходной нечеткой переменной (одновременно) не позволяет построить работоспособный регулятор. Определяющим является выбор функций принадлежности для входных нечетких переменных. Для входных нечетких переменных предпочтительнее выбирать функции принадлежности вида б или в, для выходной – г или д.

**Список литературы:** 1. Усольцев А.А. Векторное управление асинхронными двигателями. Учебное пособие по дисциплинам электромеханического цикла. – С-Пб. 2002. – 39 с. 2. Рудаков В.В., Столяров И.М., Дартуа В.А. Асинхронные электроприводы с векторным управлением. – Л.: Энергоатомиздат, 1987. – 136 с. 3. Bimal K. Bose Modern Power Electronics and AC Drives. – Prentice-Hall PTR, 2002. – 738 с. 4. Борисов В.В., Круглов В.В., Федулов В.В. Нечеткие модели и сети. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 284 с. 5. Ярушикина Н.Г. Основы теории нечетких и гибридных систем: Учебное пособие. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 320 с. 6. Васильев В.И., Ильясов Б.Г. Интеллектуальные системы управления с использованием нечеткой логики: Учебное пособие. – Уфа: УГАТУ, 1997. – 220 с. 7. Заполовский Н.И., Носков В.И., Мезенцев Н.В., Горбач Н.В. Разработка и исследование системы управления электроприводом переменного тока с использованием методов нечеткой логики // Вестник НТУ "ХПИ". Тематический выпуск: Информатики и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2006. – № 23. – С. 53 – 60.

Поступила в редакцию 18.04.2007

**В.Г. ИВАНОВ**, канд. техн. наук,  
**М.Г. ЛЮБАРСКИЙ**, д-р физ.-мат. наук,  
**Ю.В. ЛОМОНОСОВ**, канд. техн. наук (г. Харьков)

## **JPEG И ВЕЙВЛЕТ-КОМПРЕССИЯ ОБЪЕКТА И ФОНА ИЗОБРАЖЕНИЯ С РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНЬЮ КАЧЕСТВА**

У даній роботі приводяться практичні результати комп'ютерного моделювання стиску деяких класів зображень. Зображення перед кодуванням попередньо розбивається на дві частини – об'єкт і тло. Поділ зображення здійснюється в площині вейвлет-коефіцієнтів. Кодування кожної складової зображення робиться окремо з різним ступенем точності на основі JPEG-технологій з використанням узагальненого перетворення Фур'є (дискретне косинусне перетворення – DCT), а також із застосуванням багатомасштабної обробки вейвлет-коефіцієнтів.

In the given operation the practical results of computer simulation of contraction of some classes of the maps are resulted. The map, before encoding, is previously broken down into two parts - plant and background. The separation of the map is carried out in a plain of wavelet-coefficients. The encoding by each component the maps is made separately with different degree of accuracy on the basis of JPEG-know-hows with usage of a generalized Fourier transform (discretic cosine transforming - DCT), and also with applying of multiscale treating of wavelet-coefficients.

**Введение.** В течение многих лет доминирующей тенденцией в исследованиях проблемы сжатия данных и изображений являются методы обработки сигналов и методы теории информации, которые используют декоррелирующие свойства различных линейных преобразований и возможности квантования и энтропийного кодирования коэффициентов этих преобразований [1].

Развитие этих методов привело к созданию известных JPEG-форматов, которые используют субоптимальные косинусные преобразования Фурье и методы вейвлет-преобразований, позволяющие в 20 и более раз сократить объем графических данных, сохранив при этом хорошее визуальное качество [2, 3]. Повысить количественные и качественные характеристики этих форматов можно в результате сокращения содержательной избыточности изображений. Суть такого подхода заключается в том, что в памяти хранится только часть изображения, представляющая интерес в данном конкретном применении.

**Постановка задачи и её решение.** Основной проблемой при сокращении содержательной избыточности изображений остается выделение значимых (информативных) участков изображений (объектов) и участков менее информативных (фона). И хотя решению этой проблемы посвящено большое количество работ [4 – 6], в которых получены интересные результаты, в целом задача кодирования изображений на основе этих принципов еще далека от своего окончательного решения.

В данной работе разделение элементов изображения на два класса (объект и фон) производится при помощи вейвлет-преобразования изображения, и выделения контуров в пространстве коэффициентов высокочастотных областей многомасштабного анализа. Конечным результатом выделения объектов на изображении является построение битовой плоскости, которая содержит информацию о расположении объекта и фона. Дальнейшая обработка выделенных областей осуществляется при помощи JPEG-технологий на базе дискретного косинусного преобразования, а также с помощью многомасштабного вейвлет-анализа. Эта работа является продолжением исследований авторов, основные результаты которых были опубликованы в [7 – 9].

**Выделение объектов на плоскости изображений.** Идея кодирования изображения с различной степенью качества реализована в графическом формате DjVu [10]. В этом формате изображение разделяется на передний план, задний план и битовую плоскость соответствия, которая содержит информацию о взаимном размещении переднего и заднего плана на плоскости изображения. Разделение изображения на передний план ( в рассматриваемом случае – аналог объекта) и задний план (фон) основано на нахождении границ резких перепадов яркости между областями с равномерным распределением её значений. Подобный алгоритм выделения значимых областей изображений позволяет сохранить эти области с лучшим качеством, а степень сжатия повысить за счет большей компрессии заднего плана. Кодирование переднего и заднего плана изображения производится на основе вейвлет-преобразования данных с различным разрешением, причем разрешение заднего плана в несколько раз меньше, чем разрешение переднего плана. Таким образом, обрабатываемое изображение в формате DjVu кодируется с различной степенью качества, что по сравнению с форматом JPEG-2000 (JP2), где также используется вейвлет-преобразование для всей плоскости изображения, имеет некоторое преимущество в сжатии для определенных классов изображений.

Ограничением приведенного метода выделения переднего плана есть то, что значимый (информативный) объект должен иметь равномерное распределение яркости, быть замкнутым по форме и иметь четкие границы перепада яркости по сравнению с задним планом изображения (символьные данные). В случае, когда наиболее информативная область реалистичного изображения не имеет замкнутой формы с постоянным значением яркости, приведенный алгоритм не производит разделения изображения и кодирует его с равной степенью качества, т.е. сводится к известному формату JPEG-2000.

**Целью данной работы** является разработка и анализ эффективного алгоритма кодирования на основе выделения наиболее информативных областей изображения, не имеющих равномерного распределения яркости внутри себя и замкнутых границ, очерчивающих объект. В качестве такого изображения, из библиотеки стандартных изображений